

(19)日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11)特許出願公開番号

特開2000-223396

(P2000-223396A)

(43)公開日 平成12年8月11日(2000.8.11)

(51)Int.Cl. <sup>7</sup>	識別記号	FI	テマコード(参考)
H01L 21/027		H01L 21/30	515D 2H097
G03F 7/20	505	G03F 7/20	505 5F046
	521		521
		H01L 21/30	527

審査請求 未請求 請求項の数5 OL (全11頁)

(21)出願番号 特願平11-21591

(22)出願日 平成11年1月29日(1999.1.29)

(71)出願人 00004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 谷津 修

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

(74)代理人 100095256

弁理士 山口 孝雄

Fターム(参考) 2H097 CA06 CA13 CA17 GB01 LA10

5F046 BA03 CA04 CB02 CB07 CB12

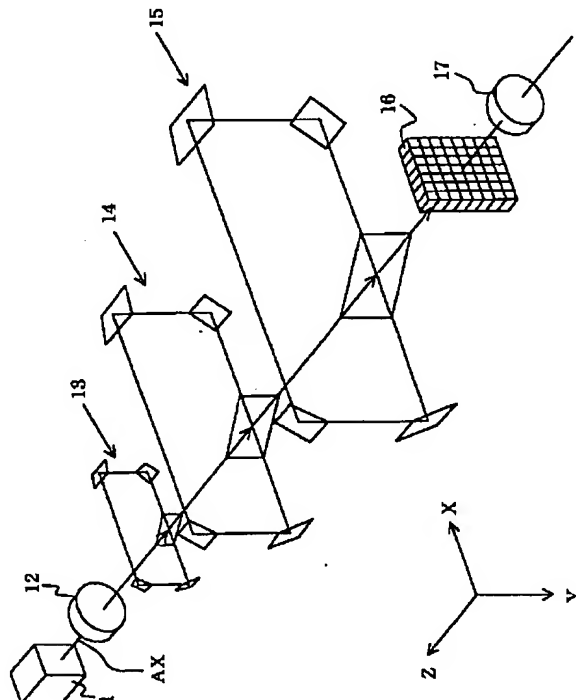
CB13 CB23 DA11

(54)【発明の名称】 照明光学装置および該照明光学装置を備えた露光装置

(57)【要約】

【課題】 コヒーレント光源を用いた場合でもコヒーレンシーの低減を十分に行うことができ、振動に対する安定性が高く光学調整が容易な照明光学装置。

【解決手段】 光源(1)から基準光軸(AX)に沿って入射する光束を透過光束と反射光束とに分割するビームスプリッタ(30)と、該ビームスプリッタからの反射光束を偶数回に亘って偏向させた後にビームスプリッタへ向けるように形成された遅延光路(31~34)とを有する。遅延光路は、基準光軸に対してほぼ平行に位置ずれした状態で入射する光束に対してもビームスプリッタから射出される複数の光束をほぼ同じ光軸に沿って射出させるために、分割された反射光束を基準光軸から位置ずれした元の入射位置へ戻すように形成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 コヒーレントな光束を供給する光源と、前記光源から基準光軸に沿って入射する光束の一部を前記基準光軸とはほぼ一致する第 1 の光軸に沿って第 1 光束として射出させつつ前記基準光軸に沿って入射する光束の一部を前記基準光軸とは異なる方向の第 2 の光軸に沿って第 2 光束として射出するためのビームスプリッタと、該ビームスプリッタからの前記第 2 光束を偶数回に亘って偏向させた後に前記ビームスプリッタへ向けるように形成され前記光源からの光束の時間的可干渉距離以上10 に設定された光路長を有する遅延光路とを有する分割遅延手段とを備え、

前記遅延光路は、前記基準光軸に対してほぼ平行に位置ずれた状態で入射する光束に対しても前記第 1 光束と前記第 2 光束とをほぼ同じ光軸に沿って射出させるために、前記第 2 の光軸に沿って分割された前記第 2 光束を前記基準光軸から位置ずれた元の入射位置へ戻すように形成されていることを特徴とする照明光学装置。

【請求項 2】 前記分割遅延手段は、前記遅延光路の光路中に配置された偶数個の反射部材を有し、前記ビームスプリッタで前記第 2 の光軸に沿って分割された前記第 2 光束は、前記偶数個の反射部材で順次反射された後に前記ビームスプリッタに戻ることを特徴とする請求項 1 に記載の照明光学装置。

【請求項 3】 前記偶数個の反射部材の各々は、光束が S 偏光状態で入射するように配置された反射ミラーであることを特徴とする請求項 2 に記載の照明光学装置。

【請求項 4】 前記分割遅延手段は、第 1 段目の分割遅延部から第 n 段目（n は 1 よりも大きい整数）の分割遅延部までの複数の分割遅延部を備え、

前記第 1 段目の分割遅延部は、前記光源から入射する光束を 2 つの光束に分割し、該 2 つの光束に第 1 の光路長差を付与するように構成され、

前記第 n 段目の分割遅延部は、第（n-1）段目の分割遅延部を介して入射する光束を 2 つの光束に分割し、該 2 つの光束に前記第 1 の光路長差の n 倍の光路長差を付与するように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置。

【請求項 5】 請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の照明光学装置と、該照明光学装置の被照明面上に配置されたマスクのパターンを感光性基板に投影露光するための投影光学系とを備え、

前記照明光学装置は、前記分割遅延手段を介した光束に基づいて多数の光源像を形成するためのオブティカルインテグレータと、該オブティカルインテグレータからの光束を前記マスクへ導くための集光光学系とを備えていることを特徴とする露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は照明光学装置および

該照明光学装置を備えた露光装置に関し、特に半導体素子などをフォトリソグラフィ工程で製造するための露光装置に好適な照明光学装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】 この種の露光装置に使用される従来の照明光学装置として、例えば特開平 1-198759 号公報に開示された照明光学装置が知られている。図 8 は、特開平 1-198759 号公報に開示された従来の照明光学装置の構成を概略的に示す図である。図 8 の照明光学装置では、レーザー光源 100 からの光束が光遅延素子としての三角プリズム 101 に入射する。三角プリズム 101 に入射した光束の一部はその内部へ入射することなく反射され、残部はその内部へ入射して三角形の遅延光路を経た後に元の入射位置へ戻る。

【0003】 三角プリズム 101 への入射位置へ戻った光束の一部は、三角プリズム 101 の内部へ入射することなく反射された光束と同じ光路に沿って射出され、残部は三角形の遅延光路を再び経た後に元の入射位置へ再び戻ることになる。こうして、光遅延素子 101 では、レーザー光源 100 からの光束を時間的に複数の光束（理論的には無限数の光束）に分割し、時間的に連続する 2 つの光束の間に三角形の遅延光路の光路長に等しい光路長差を付与する。なお、この三角形の遅延光路の光路長は、レーザー光源 100 からの光束の時間的可干渉距離（コヒーレンス長）以上になるように設定されている。

【0004】 光遅延素子 101 を介した光束は、第 2 の光遅延素子としての三角プリズム 102 に入射する。三角プリズム 102 は、第 1 の光遅延素子である三角プリズム 101 と類似の構成を有するが、三角形の遅延光路の光路長が第 1 の光遅延素子の 2 倍に設定されている点だけが基本的に相違する。したがって、第 2 の光遅延素子 102 では、第 1 の光遅延素子 101 を介した光束を時間的に複数の光束に分割し、時間的に連続する 2 つの光束の間に第 1 の光遅延素子の光路長差の 2 倍の光路長差を付与する。

【0005】 第 1 の光遅延素子 101 および第 2 の光遅延素子 102 を介した光束は、フライアイレンズ 103 に入射し、その後側焦点面に多数の光源像からなる二次光源を形成する。二次光源からの光束は、コンデンサーレンズ 104 を介して、被照明面に設定されたマスク 105 を重畳的に照明する。以上のように、図 8 に示す従来の照明光学装置では、第 1 の光遅延素子 101 および第 2 の光遅延素子 102 を介して順次生成される一連の光束にコヒーレンス長以上の光路長差を付与することにより、コヒーレント光源を用いた場合でも可干渉性（コヒーレンシー）の低減を行うことができる。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、上述のような従来の照明光学装置では、光遅延素子の遅延光路

が三角形に形成されているので、たとえば装置の振動などの影響により光遅延素子への入射光束が基準光路から平行に位置ずれすると、光遅延素子の内部へ入射した光束は元の入射位置へ戻らない。その結果、光遅延素子の内部へ入射することなく反射される射出光束の光路と光遅延素子の内部へ入射して遅延光路を1回だけ経て射出される光束の光路とは一致なくなり、ひいては2つの光遅延素子を介して順次生成される一連の光束の光路が互いに一致することなく基準光路から次第に離れてしまう。すなわち、上述のような従来の照明光学装置では、振動に対する安定性が低く、結果として装置の光学調整も困難であるという不都合があった。

【0007】本発明は、前述の課題に鑑みてなされたものであり、コヒーレント光源を用いた場合でもコヒーレンシーの低減を十分に行うことができ、さらに振動に対する安定性が高く光学調整が容易な照明光学装置および該照明光学装置を備えた露光装置を提供することを目的とする。

【0008】

【課題を解決するための手段】前記課題を解決するために、本発明の第1発明では、コヒーレントな光束を供給する光源と、前記光源から基準光軸に沿って入射する光束の一部を前記基準光軸とほぼ一致する第1の光軸に沿って第1光束として射出させつつ前記基準光軸に沿って入射する光束の一部を前記基準光軸とは異なる方向の第2の光軸に沿って第2光束として射出するためのビームスプリッタと、該ビームスプリッタからの前記第2光束を偶数回に亘って偏向させた後に前記ビームスプリッタへ向けるように形成され前記光源からの光束の時間的可干渉距離以上に設定された光路長を有する遅延光路とを有する分割遅延手段とを備え、前記遅延光路は、前記基準光軸に対してほぼ平行に位置ずれした状態で入射する光束に対しても前記第1光束と前記第2光束とをほぼ同じ光軸に沿って射出させるために、前記第2の光軸に沿って分割された前記第2光束を前記基準光軸から位置ずれした元の入射位置へ戻すように形成されていることを特徴とする照明光学装置を提供する。

【0009】第1発明の好ましい態様によれば、前記分割遅延手段は、前記遅延光路の光路中に配置された偶数個の反射部材を有し、前記ビームスプリッタで前記第2の光軸に沿って分割された前記第2光束は、前記偶数個の反射部材で順次反射された後に前記ビームスプリッタに戻る。この場合、前記偶数個の反射部材の各々は、光束がS偏光状態で入射するように配置された反射ミラーであることが好ましい。また、この場合、前記反射ミラーは、前記光源からの光束を反射するための表面反射面と、前記光源からの光束とは実質的に異なる所定の波長の光束を反射するための裏面反射面とを有することが好ましい。

【0010】また、第1発明の好ましい態様によれば、

前記分割遅延手段は、第1段目の分割遅延部から第n段目（nは1よりも大きい整数）の分割遅延部までの複数の分割遅延部を備え、前記第1段目の分割遅延部は、前記光源から入射する光束を2つの光束に分割し、該2つの光束に第1の光路長差を付与するように構成され、前記第n段目の分割遅延部は、第（n-1）段目の分割遅延部を介して入射する光束を2つの光束に分割し、該2つの光束に前記第1の光路長差のn倍の光路長差を付与するように構成されている。また、第1発明の好ましい態様によれば、前記時間的可干渉距離は、前記光源の空間分解能内での波長分布に基づく時間的可干渉距離であることが好ましい。

【0011】また、本発明の第2発明では、第1発明の照明光学装置と、該照明光学装置の被照明面上に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に投影露光するための投影光学系とを備え、前記照明光学装置は、前記分割遅延手段を介した光束に基づいて多数の光源像を形成するためのオプティカルインテグレータと、該オプティカルインテグレータからの光束を前記マスクへ導くための集光光学系とを備えていることを特徴とする露光装置を提供する。さらに、本発明の別の局面によれば、第1発明の照明光学装置を用いて、該照明光学装置の被照明面上に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に露光することを特徴とする露光方法を提供する。

【0012】

【発明の実施の形態】本発明では、ビームスプリッタと、該ビームスプリッタで基準光軸とは異なる方向に射出された第2光束（ビームスプリッタにおける最初の反射光束および2回目以降の透過光束）を再びビームスプリッタへ導く遅延光路とからなる分割遅延手段を備えている。この分割遅延手段により、基準光軸に沿って入射する光束は、時間的に複数の光束に分割され、時間的に連続する2つの光束の間には遅延光路の光路長と等しい光路長差が付与される。ここで、付与される光路長差は、光源からの光束の時間的可干渉距離以上に設定されている。したがって、分割遅延手段により分割される波長においてコヒーレンシー（可干渉性）を低減することができ、被照明面における干渉縞やスベックルの発生を良好に抑えることができる。

【0013】また、本発明の遅延光路は、ビームスプリッタからの第2光束を偶数回に亘って偏向させた後にビームスプリッタへ向けるように形成されている。加えて、基準光軸に対してほぼ平行に位置ずれした状態で入射する光束に対しても、第2光束を基準光軸から位置ずれした元の入射位置へ戻すように形成されている。したがって、装置の振動などの影響により光源からビームスプリッタへの入射光束が基準光軸に対してほぼ平行に位置ずれしても、分割遅延手段を介して生成される一連の光束の光路が基準光路からは外れるが互いに位置ずれすることはない。その結果、本発明の照明光学装置では、

振動に対する安定性が高く、結果として光学調整も容易である。

【0014】したがって、本発明の照明光学装置を組み込んだ露光装置では、干渉に起因する照明むらが少なく且つ振動の影響を受け難い良好な照明条件のもとで、良好な投影露光を行うことができる。また、本発明の照明光学装置を用いて被照明面上に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法では、良好な照明条件のもとで投影露光を行うことができるので、良好な半導体デバイスを製造することができる。

【0015】本発明の実施例を、添付図面に基づいて説明する。図1は、本発明の実施例にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。また、図2は、図1の光源と照明光学系とからなる照明光学装置の内部構成を概略的に示す斜視図である。なお、図1において、投影光学系6の光軸AXに平行にZ軸を、光軸AXに垂直な面内において図1の紙面に平行にX軸を、図1の紙面に垂直にY軸を設定している。図1の投影露光装置は、露光光（照明光）を供給するための光源1として、248nmの波長の光を供給するKrFエキシマレーザ光源を備えている。光源1から射出された光は、照明光学系2に入射する。

【0016】ここで、図2を参照すると、照明光学系2では、光源1から光軸AXに沿って供給された光束が整形光学系12に入射する。整形光学系12は、たとえば一對のレンズからなるエキスパンダーと、一對のシリンドリカルレンズからなるシリンドリカルエキスパンダーとから構成されている。整形光学系12を介して所望の断面形状に整形された光束は、第1の分割遅延部13～第3の分割遅延部15を介した後、オプティカルインテグレートとしてのフライアイレンズ16に入射する。なお、第1の分割遅延部13～第3の分割遅延部15の構成および作用については後述する。

【0017】フライアイレンズ16は、たとえば断面が矩形形状で正の屈折力を有する多数のレンズエレメントをその中心軸線が光軸AXに平行になるように縦横配列することによって構成されている。したがって、フライアイレンズ16に入射した光束は多数のレンズエレメントにより二次元的に分割され、その後側焦点面には多数の光源像からなる二次光源が形成される。フライアイレンズ16の後側焦点面に形成された二次光源からの光束は、コンデンサーレンズ17を介した後、転写すべき所定のパターンが形成されたマスク3を重畳的に照明する。

【0018】再び図1を参照すると、マスク3は、マスクホルダ4を介して、マスクステージ5上においてXY平面に平行に保持されている。マスク3に形成されたパターンからの光は、投影光学系6を介して、感光性基板であるウエハ7上にマスクパターン像を形成する。ウエハ7は、ウエハホルダ8を介して、ウエハステージ9上

においてXY平面に平行に保持されている。ウエハステージ9は、図示を省略した駆動系の作用によりウエハ面（すなわちXY平面）に沿って二次元的に移動可能であり、その位置座標は移動鏡を用いた干渉計10によって計測され且つ位置制御されるように構成されている。

【0019】こうして、投影光学系6の光軸AXと直交する平面（XY平面）内において駆動系および干渉計（10）などを用いてウエハ7を二次元的に駆動制御することにより、ウエハ7の各露光領域にマスク3のパターンが逐次露光される。あるいは、投影光学系6に対してマスク3およびウエハ7を走査方向に沿って相対的に移動させつつウエハ7の各露光領域にマスク3のパターンが走査露光される。

【0020】図3は、第1の分割遅延部の構成を拡大して示す斜視図である。また、図4は、第1の分割遅延部における遅延光路の作用を説明する図である。図3に示すように、第1の分割遅延部13は、光軸AXに対して45度に斜設されたハーフミラー30を備えている。したがって、光軸AXに沿ってハーフミラー30に入射した光束は、ハーフミラー30を透過する光束とハーフミラー30で+X方向に反射される光束とに分割される。ハーフミラー30を透過した光束は、光軸AXに沿って第2の分割遅延部14に入射する。

【0021】一方、ハーフミラー30で+X方向に反射された光束は、第1の反射ミラー31で-Y方向に反射され、第2の反射ミラー32で-X方向に反射され、第3の反射ミラー33で+Y方向に反射され、第4の反射ミラー34で+X方向に反射された後に、ハーフミラー30に戻る。ハーフミラー30に戻った光束は、ハーフミラー30を透過する光束とハーフミラー30で-Z方向に反射される光束とに分割される。ハーフミラー30で-Z方向に反射された光束は、光軸AXに沿って第2の分割遅延部14に入射する。一方、ハーフミラー30を透過した光束は、第1の反射ミラー31～第4の反射ミラー34を介した後に、ハーフミラー30に再び戻る。

【0022】以上のように、基準光軸である光軸AXに沿って第1の分割遅延部13に入射した光束は、ビームスプリッタとしてのハーフミラー30を透過する光束P0とハーフミラー30で反射される光束とに分割される。ハーフミラー30で反射された光束は、矩形形状の遅延光路を形成するように配置された4つの反射ミラー31～34において順次偏向された後に、ハーフミラー30に戻る。このとき、図4において実線で示すように、光軸AXに沿ってハーフミラー30に入射する光束の入射位置と矩形形状の遅延光路を介してハーフミラー30に戻る光束のハーフミラー30への再入射位置とが一致するように、4つの反射ミラー31～34が配置されている。

【0023】したがって、遅延光路を1回経た後にハー

フミラー30で-Z方向に反射された光束P1は、遅延光路を経ることなくハーフミラー30を透過した光束P0と同じ光軸AXに沿って射出され、光束P0と光束P1の間には遅延光路の光路長に等しい光路長差が付与される。同様に、遅延光路を2回経た後にハーフミラー30で反射された光束P2は、光束P0や光束P1と同じ光軸AXに沿って射出される。このとき、光束P0と光束P2の間には遅延光路の光路長の2倍に等しい光路長差が付与され、光束P1と光束P2の間には遅延光路の光路長に等しい光路長差が付与される。すなわち、第1の分割遅延部13は、光軸AXに沿って入射する光束を時間的に複数の光束（理論的には無限数の光束であるが、後述するようにエネルギーの小さい光束の影響を無視すれば実用的には有限数の光束）に分割し、時間的に連続する2つの光束の間に遅延光路の光路長に等しい光路長差を付与する。

【0024】なお、第1の分割遅延部13では、上述したように、遅延光路が4個の反射ミラー31~34を用いて矩形形状に構成されている。したがって、第1の分割遅延部13では、図4において破線および一点鎖線で示すように、光軸AXに対して平行に位置ずれた状態でZ方向に沿って入射する光束に対しても、Z方向に沿ってハーフミラー30に最初に入射する光束の入射位置と、矩形形状の遅延光路を介してハーフミラー30に再度入射する光束の再入射位置とが一致する。その結果、たとえば装置の振動などの影響により第1の分割遅延部13への入射光束が光軸AXから平行に位置ずれても、第1の分割遅延部13を介して順次生成される一連の光束の光路は光軸AXからは外れるが互いに位置ずれすることがない。

【0025】図5に示す比較例の分割遅延部では、遅延光路が3個の反射ミラー111~113を用いて三角形形状に構成されている。この場合、図5において破線および一点鎖線で示すように、光軸AXに対してほぼ平行に位置ずれた状態で光束がハーフミラー110に入射すると、三角形形状の遅延光路を介した光束は元の入射位置には戻らない。その結果、遅延光路が三角形形状に構成された比較例の場合、分割遅延部を介して順次生成される一連の光束の経路が互いに一致することなく基準光軸から次第に離れてしまうことになる。この点は、遅延光路が三角形形状に形成された光遅延素子を有する図8の従来の照明光学装置においても同様である。

【0026】なお、一般に、反射ミラーの反射率はP偏光入射とS偏光入射とは異なり、S偏光入射の方がP偏光入射よりも高い反射率を確保することができる。したがって、第1の分割遅延部13では、遅延光路における光損失を回避するために、4個の反射ミラー31~34に対してS偏光状態で光束が入射するように構成することが好ましい。本実施例の第1の分割遅延部13の場合、図3に示すように、ハーフミラー30に対してP偏

光状態で光束を入射させることにより、4個の反射ミラー31~34に対してS偏光入射が可能となる。以下、後述する第2の分割遅延部14および第3の分割遅延部15の場合も同様である。

【0027】図2を参照すると、第1の分割遅延部13を介した光束は、光軸AXに沿って第2の分割遅延部14に入射する。第2の分割遅延部14は、第1の分割遅延部13の同様の構成を有するが、遅延光路の光路長が第1の分割遅延部13における遅延光路の光路長dの2倍に設定されている点だけが第1の分割遅延部13と相違している。したがって、第2の分割遅延部14は、光軸AXに沿って入射する光束を時間的に複数の光束に分割し、時間的に連続する2つの光束の間に遅延光路の光路長2dに等しい光路長差を付与する。

【0028】また、第2の分割遅延部14を介した光束は、光軸AXに沿って第3の分割遅延部15に入射する。第3の分割遅延部15は、第1の分割遅延部13の同様の構成を有するが、遅延光路の光路長が第1の分割遅延部13における遅延光路の光路長dの3倍に設定されている点だけが第1の分割遅延部13と相違している。したがって、第3の分割遅延部15は、光軸AXに沿って入射する光束を時間的に複数の光束に分割し、時間的に連続する2つの光束の間に遅延光路の光路長3dに等しい光路長差を付与する。

【0029】以下、第1の分割遅延部13~第3の分割遅延部15からなる分割遅延手段全体としての作用について具体的に説明する。なお、以下の説明において、各分割遅延部におけるハーフミラーの反射率および透過率をともに50%とし、各反射ミラーの反射率を100%とする。まず、第1の分割遅延部13~第3の分割遅延部15の遅延光路を全く経ることなく通過した光束P000が、時間的に最も早くフライアイレンズ16に達する。この光束P000のエネルギーは、第1の分割遅延部13への入射光束のエネルギーの12.5%である。

【0030】次に、第1の分割遅延部13の遅延光路だけを1回経た光束P100が、光束P000に対して光路長差dが付与された状態でフライアイレンズ16に達する。この光束P100のエネルギーは、第1の分割遅延部13への入射光束のエネルギーの6.25%となる。次に、第1の分割遅延部13の遅延光路だけを2回経た光束P200および第2の分割遅延部14の遅延光路だけを1回経た光束P010が、光束P000に対して光路長差2dが付与された状態でフライアイレンズ16に達する。この場合、光束P200のエネルギーは約3.13%となり、光束P010のエネルギーは6.25%となる。すなわち、光束P000に対して光路長差2dが付与される光束の合計エネルギーは、約9.38%となる。

【0031】次に、第1の分割遅延部13の遅延光路だけを3回経た光束P300、第1の分割遅延部13の遅延光路を1回経るとともに第2の分割遅延部14の遅延光

路を1回経た光束P110、および第3の分割遅延部15の遅延光路だけを1回経た光束P001が、光束P000に対して光路長差3dが付与された状態でフライアイレンズ16に達する。この場合、光束P300のエネルギーは約1.56%となり、光束P110のエネルギーは約3.13%となり、光束P001のエネルギーは6.25%となる。すなわち、光束P000に対して光路長差3dが付与される光束の合計エネルギーは、約10.94%となる。

【0032】次に、第1の分割遅延部13の遅延光路だけを4回経た光束P400、第1の分割遅延部13の遅延光路を2回経るとともに第2の分割遅延部14の遅延光路を1回経た光束P210、第2の分割遅延部14の遅延光路だけを2回経た光束P020、および第1の分割遅延部13の遅延光路を1回経るとともに第3の分割遅延部15の遅延光路を1回経た光束P101が、光束P000に対して光路長差4dが付与された状態でフライアイレンズ16に達する。この場合、光束P400のエネルギーは約0.78%となり、光束P210のエネルギーは約1.56%となり、光束P020のエネルギーは約3.13%となり、光束P101のエネルギーは3.13%となる。以下、第1の分割遅延部13への入射光束のエネルギーの1%以下になる光束の影響を無視する。したがって、光束P000に対して光路長差4dが付与される光束は、光束P210と光束P020と光束P101とであり、その合計エネルギーは約7.82%となる。

【0033】次に、第1の分割遅延部13の遅延光路を1回経るとともに第2の分割遅延部14の遅延光路を2回経た光束P120、第1の分割遅延部13の遅延光路を2回経るとともに第3の分割遅延部15の遅延光路を1回経た光束P201、および第2の分割遅延部14の遅延光路を1回経るとともに第3の分割遅延部15の遅延光路を1回経た光束P011が、光束P000に対して光路長差5dが付与された状態でフライアイレンズ16に達する。この場合、光束P120のエネルギーは約1.56%となり、光束P201のエネルギーは約1.56%となり、光束P011のエネルギーは3.13%となる。すなわち、光束P000に対して光路長差5dが付与される光束の合計エネルギーは、約6.25%となる。

【0034】次に、第2の分割遅延部14の遅延光路だけを3回経た光束P030、第3の分割遅延部15の遅延光路だけを2回経た光束P002、および第1の分割遅延部

\*部13～第3の分割遅延部15の遅延光路をそれぞれ1回ずつ経た光束P111が、光束P000に対して光路長差6dが付与された状態でフライアイレンズ16に達する。この場合、光束P030のエネルギーは約1.56%となり、光束P002のエネルギーは3.13%となり、光束P111のエネルギーは約1.56%となる。すなわち、光束P000に対して光路長差6dが付与される光束の合計エネルギーは、約6.25%となる。

【0035】次に、第2の分割遅延部14の遅延光路を2回経るとともに第3の分割遅延部15の遅延光路を1回経た光束P021、および第1の分割遅延部13の遅延光路を1回経るとともに第3の分割遅延部15の遅延光路を2回経た光束P102が、光束P000に対して光路長差7dが付与された状態でフライアイレンズ16に達する。この場合、光束P021のエネルギーは約1.56%となり、光束P102のエネルギーも1.56%となる。すなわち、光束P000に対して光路長差7dが付与される光束の合計エネルギーは、約3.13%となる。

【0036】次に、第2の分割遅延部14の遅延光路を1回経るとともに第3の分割遅延部15の遅延光路を2回経た光束P012が、光束P000に対して光路長差8dが付与された状態でフライアイレンズ16に達する。この場合、光束P012のエネルギーは約1.56%となる。次に、第3の分割遅延部15の遅延光路だけを3回経た光束P003が、光束P000に対して光路長差9dが付与された状態でフライアイレンズ16に達する。この場合、光束P003のエネルギーは約1.56%となる。

【0037】以上のように、分割遅延部13～第3の分割遅延部15を介して分割された光束のうち1%以上のエネルギーを有する光束にだけ着目すると、第1の分割遅延部13～第3の分割遅延部15は、光軸AXに沿って第1の分割遅延部13に入射する光束を時間的に10個の光束P0～P9に分割し、時間的に連続する2つの光束の間に光路長差dを付与する。すなわち、時間的に分割された10個の光束P0～P9の光束成分およびその合計エネルギー、並びに基準となる光束P0に対して各光束に付与される光路長差は、次の表(1)に示す通りとなる。

【0038】

【表1】

光束成分		合計エネルギー	光路長差
光束P0	P000	12.5%	0
光束P1	P100	6.25%	d
光束P2	P200 + P010	9.38%	2 d
光束P3	P300 + P110 + P001	10.94%	3 d
光束P4	P210 + P020 + P101	7.82%	4 d
光束P5	P120 + P011 + P201	6.25%	5 d
光束P6	P030 + P002 + P111	6.25%	6 d
光束P7	P021 + P102	3.13%	7 d



11

光束P 8 P 012  
 光束P 9 P 003

【0039】なお、上述の説明では、分割遅延部13～第3の分割遅延部15を介して分割された光束のうち1%以上のエネルギーを有する光束にだけ着目している。しかしながら、たとえば0.1%以上のエネルギーを有する光束に着目すれば、第1の分割遅延部13～第3の分割遅延部15は、光軸AXに沿って第1の分割遅延部13に入射する光束を時間的にさらに多数の光束に分割していることはいうまでもない。また、上述の説明では、ハーフミラーの反射率を50%と仮定しているが、たとえば33%～50%程度に設定するのが一般的である。

【0040】本実施例では、時間的に連続する2つの光束の間に付与される光路長差d、すなわち第1の分割遅延部13の遅延光路の光路長dは、光源1からの光束の時間的可干渉距離以上に設定されている。以下、本実施例で採用すべき時間的可干渉距離について説明する。一般に、光束の時間的可干渉距離Lcは、次の式(1)で表される。

$$Lc = \lambda^2 / \Delta \lambda \quad (1)$$

ここで、λは光源全体の波長分布における中心波長であり、Δλは光源全体の波長分布における半値全幅（以下、「半値幅」という）である。

【0041】ただし、エキシマレーザー光源では、スペクトル分布の半値幅を狭くするために回折格子を含む狭帯化装置を用いているので、分光部分の射出スリット上に波長分布が生じる。すなわち、分光部分の射出スリット上に形成された微小な光源にスペクトル分布が多数集まって、光源全体のスペクトル分布が形成されている。このように、微小なコヒーレント素光源が多数集まって形成されていると考えられるコヒーレント光源の場合、隣合う微小な素光源が分離して観察できる空間分解能（これはエキシマレーザービームの発散全角ωから概ねλ/ωと推定することができる）が射出スリット幅よりも細かい（小さい）ときには、この空間分解能内の波長分布における半値幅Δλpに基づく時間的可干渉距離Lcpを考える必要がある。

【0042】この時間的可干渉距離Lcpは、次の式(2)で表される。

$$Lcp = \lambda^2 / \Delta \lambda p \quad (2)$$

因みに、中心波長λが248nmのKrFエキシマレーザーでは、光源全体の波長分布に基づく半値幅Δλが0.8pmの場合、時間的可干渉距離Lcは77mm程度である。この場合、空間分解能内の波長分布に基づく半値幅Δλpは0.4pm程度であり、時間的可干渉距離Lcpは154mm程度となる。一方、光源全体の波長分布に基づく半値幅Δλが0.6pmの場合、時間的可干渉距離Lcは103mm程度である。この場合、空間分解能内の波長分布に基づく半値幅Δλpは0.3pm程度であり、時間的可干渉距離Lcpは206mm程

12

1.56% 8 d  
 1.56% 9 d

度となる。なお、理想的には、分光部分の射出スリット位置での空間分解能内の波長分布に基づいて時間的可干渉距離Lcpを求めることが望ましいが、被照明面と共役な光源近傍の位置での空間分解能内の波長分布に基づいて時間的可干渉距離Lcpを求めてもよい。

【0043】本実施例においては、時間的可干渉距離として、光源全体の波長分布に基づく時間的可干渉距離Lcではなく、空間分解能内での波長分布に基づく時間的可干渉距離Lcpを採用し、第1の分割遅延部13の矩形形状の遅延光路の光路長dを時間的可干渉距離Lcp以上に設定している。本実施例において時間的可干渉距離Lcpを採用する理由は、フライアイレンズの後側焦点面に多数の射出スリット像（光源像）が形成されるが、付与される光路長差dが光源全体の波長分布に基づく時間的可干渉距離Lcに等しいような場合には、各スリット像の任意の空間分解能サイズからの光が互いに干渉し、この干渉に起因して被照明面であるマスク面およびウエハ面上に干渉縞やスベクルが発生するからである。

【0044】以上のように、本実施例では、第1の分割遅延部13～第3の分割遅延部15からなる分割遅延手段により、時間的に分割された複数の光束を生成し、時間的に連続する2つの光束の間に時間的可干渉距離Lcp以上に設定された光路長差dを付与する。したがって、第1の分割遅延部13～第3の分割遅延部15からなる分割遅延手段により分割された波連においてコヒーレンシー（可干渉性）を低減することができ、被照明面であるマスク面およびウエハ面上における干渉縞やスベクルの発生を良好に抑えることができる。

【0045】また、本実施例では、各分割遅延部において遅延光路が偶数個（すなわち4個）の反射ミラーにより矩形形状に形成されているので、光軸AXに対して平行に位置ずれした状態で光束が入射しても、順次生成される一連の光束の光路は互いに位置ずれすることなく常に一定である。したがって、たとえば装置の振動などの影響により第1の分割遅延部13への入射光束が光軸AXから平行に位置ずれしても、第1の分割遅延部13～第3の分割遅延部15からなる分割遅延手段により順次生成される一連の光束の光路が互いに位置ずれすることはない。その結果、本実施例の照明光学装置では、振動に対する安定性が高く、結果として光学調整も容易である。

【0046】なお、上述の実施例の各分割遅延部において、遅延光路の始端としてのハーフミラーの分割面と遅延光路の終端としてのハーフミラーの分割面とを光学的に共役に結ぶリレー光学系を遅延光路中に配置することにより、ハーフミラーへの入射光束の基準光軸に対する角度ずれが性能に大きな影響を与え難い光学系を構成することができる。

【0047】また、上述の実施例の各分割遅延部において、遅延光路が矩形形状に形成されているが、ハーフミラーの厚さ（ハーフミラーにおける屈折作用）に起因して、順次生成される一連の光束の光路がわずかに位置ずれする。このため、第4の反射ミラーとハーフミラーとの間の光路中に、ハーフミラーの厚さに起因する位置ずれを補償するためのコンベンサーとして、ハーフミラーと同じ厚さを有する平行平面板をハーフミラーと直交するように配置することが望ましい。

【0048】さらに、上述の実施例の各分割遅延部において、遅延光路の光路長を $d$ 、 $2d$ および $3d$ と変化させているが、この変化形態に限定されることなく、たとえば第2の分割遅延部および第3の分割遅延部に対して $d$ の適当な整数倍の光路長を設定することもできる。また、上述の実施例において、3つの分割遅延部で分割遅延手段を構成しているが、この数に限定されることなく1つまたは複数の分割遅延部で分割遅延手段を構成することができる。

【0049】さらに、上述の実施例の各分割遅延部において、4つの反射ミラーで矩形形状の遅延光路を形成している。しかしながら、後述する変形例にも示すように、2つ以上の反射部材を用いて矩形形状の以外の遅延光路を形成しても、本発明の効果を奏することができる。また、たとえば6つの反射ミラーで立体的な形状の遅延光路を形成しても、本発明の効果を奏することができる。すなわち、本発明において、分割遅延手段を介して順次生成される一連の光束の光路が装置の振動などの影響により互いに位置ずれしないように構成するには、遅延光路において偶数回に亘って光束を偏向させることが必要である。

【0050】図6は、本実施例の照明光学装置における各分割遅延部の変形例の構成を概略的に示す図である。図6に示すように、変形例の分割遅延部は、光軸AXに対して45度に斜設された偏光ビームスプリッターミラー60を備えている。したがって、光軸AXに沿って偏光ビームスプリッターミラー60に入射する直線偏光の光束は、偏光ビームスプリッターミラー60を透過するP偏光の光束と偏光ビームスプリッターミラー60で+X方向に反射されるS偏光の光束とに分割される。ここで、P偏光の透過光束とS偏光の反射光束との強度比が所望の値になるように、偏光ビームスプリッターミラー60への入射光束の偏光方位が設定されていることはいうまでもない。

【0051】偏光ビームスプリッターミラー60を透過したP偏光の光束は、光軸AXに沿って分割遅延部から射出される。一方、偏光ビームスプリッターミラー60で+X方向に反射されたS偏光の光束は、第1の1/4波長板61を介して、YZ面に平行な反射面を有する第1の反射ミラー62に入射する。第1の反射ミラー62で-X方向に反射された光束は、第1の1/4波長板6

1を介してP偏光となり、偏光ビームスプリッターミラー60に入射する。P偏光状態で偏光ビームスプリッターミラー60を透過した光束は、第2の1/4波長板63を介して、YZ面に平行な反射面を有する第2の反射ミラー64に入射する。第2の反射ミラー64で+X方向に反射された光束は、第2の1/4波長板63を介してS偏光となり、偏光ビームスプリッターミラー60に入射する。偏光ビームスプリッターミラー60で反射されたS偏光の光束は、光軸AXに沿って分割遅延部から射出される。

【0052】このように、変形例の分割遅延部における遅延光路は、2つの反射ミラー62および64によって規定される直線状の往復光路である。すなわち、この遅延光路は、偏光ビームスプリッターミラー60から第1の反射ミラー62までの直線光路と、第1の反射ミラー62から第2の反射ミラー64までの直線光路と、第2の反射ミラー64から偏光ビームスプリッターミラー60までの直線光路から構成されている。こうして、変形例の分割遅延部では、光軸AXに沿って入射した光束を時間的に2つの光束に分割し、この2つの光束の間に遅延光路の光路長に等しい光路長差を付与することができる。

【0053】また、図6において破線および一点鎖線で示すように、変形例の分割遅延部では、光軸AXに対して平行に位置ずれした状態でZ方向に沿って光束が入射しても、Z方向に沿って偏光ビームスプリッターミラー60に最初に入射する光束の入射位置と、遅延光路を介して偏光ビームスプリッターミラー60に最終的に入射する光束の入射位置とが一致する。その結果、たとえば装置の振動などの影響により分割遅延部への入射光束が光軸AXから平行に位置ずれしても、分割遅延部を介して順次生成される2つの光束の光路が互いに位置ずれすることがない。

【0054】したがって、上述の実施例において、各分割遅延部13～15に代えて、変形例の分割遅延部と基本的に同じ構成を有する3つの分割遅延部（遅延光路の光路長は実施例に準じて設定）を用いても、上述の実施例と同様の効果を得ることができる。ただし、変形例にしたがう3つの分割遅延部では、上述の実施例の場合とは異なり、光軸AXに沿って入射した光束が時間的に6つの光束に分割される。

【0055】ところで、上述の実施例の各分割遅延部における反射ミラーおよび上述の変形例の各分割遅延部における反射ミラーの表面反射面には、エキシマレーザー光を反射する薄膜が蒸着されている。しかしながら、この表面反射面では、可視光を所望の反射率で反射することができない。したがって、たとえば可視光を使用するオートコリメーターを利用して各反射ミラーの偏角などを調整する際には、実際の反射ミラーを振って調整することはできず、可視光を反射する調整用ミラーを用いて



調整した後に調整用ミラーと実際の反射ミラーとを交換しなければならない。この交換の際に、調整された調整用ミラーの偏角と交換された実際の反射ミラーの偏角との間に誤差が発生し易い。そこで、上述の実施例および変形例において各反射ミラーの裏面反射面に、たとえば緑色などの可視光を主に反射する薄膜を蒸着することが望ましい。この場合、照明光路中に可視光を導光するだけでなく、実際の反射ミラーを調整用ミラーと交換することなく、光学調整をさらに容易に行うことができる。

【0056】また、上述の実施例では、光源としてKrFエキシマレーザを用いているが、たとえばArFエキシマレーザなどの他のコヒーレント光源を用いることができる。ただし、ArFエキシマレーザやそれよりも短波長の光源を使用する場合には、反射ミラーの反射率がある程度低下する。したがって、図7に示すように、たとえば上述の実施例の第1の各分割遅延部の反射ミラー31〜34に代えて蛍石や石英からなる45度プリズム71〜74を用い、全反射を利用して遅延光路を折り曲げる方が光損失の観点から有利である。

【0057】上述の実施例の露光装置による露光の工程（フォトリソグラフィ工程）を経たウエハは、現像する工程を経てから、現像したレジスト以外の部分を除去するエッチングの工程、エッチングの工程後の不要なレジストを除去するレジスト除去の工程等を経てウエハプロセスが終了する。そして、ウエハプロセスが終了すると、実際の組立工程にて、焼き付けられた回路毎にウエハを切断してチップ化するダイシング、各チップに配線等を付与するボンディング、各チップ毎にパッケージングするパッケージング等の各工程を経て、最終的にデバイスとしての半導体装置（LSI等）が製造される。

【0058】なお、以上の説明では、投影露光装置を用いたウエハプロセスでのフォトリソグラフィ工程により半導体素子を製造する例を示したが、露光装置を用いたフォトリソグラフィ工程によって、半導体デバイスとして、液晶表示素子、薄膜磁気ヘッド、撮像素子（CCD等）を製造することができる。こうして、本発明の照明光学装置を用いて半導体デバイスを製造する露光方法の場合、干渉に起因する照明むらが少なく且つ振動の影響を受け難い良好な照明条件のもとで投影露光を行うことができるので、良好な半導体デバイスを製造することができる。

【0059】また、上述の実施例では、照明光学装置を備えた投影露光装置を例にとって本発明を説明したが、マスク以外の被照明面を均一照明するための一般的な照明光学装置に本発明を適用することができることは明らかである。さらに、以上の実施例および変形例では、248nmの波長光を供給するKrFエキシマレーザや193nmの波長光を供給するArFエキシマレーザ等を光源として用いた例を示したが、例えばF<sub>2</sub>レーザ光源などのこれ以外のコヒーレント光源を備えた装置にも本

発明を適用できることは言うまでもない。

【0060】なお、上述の実施例では、オブティカルインテグレータとして、複数のレンズ素子をマトリックス状に配列してなるフライアイレンズを用いたが、本発明のオブティカルインテグレータとしては、フライアイレンズに限定されることなく、例えば内面反射型のロッド型インテグレータを適用しても良い。この場合、本発明における分割遅延手段は、光源とロッド型インテグレータとの間の光路中に配置されることが好ましい。

【0061】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の照明光学装置では、コヒーレント光源を用いた場合でもコヒーレンシーの低減を十分に行うことができ、さらに振動に対する安定性が高く、光学調整が容易である。したがって、本発明の照明光学装置を組み込んだ露光装置では、干渉に起因する照明むらが少なく且つ振動の影響を受け難い良好な照明条件のもとで、良好な投影露光を行うことができる。また、本発明の照明光学装置を用いて被照明面上に配置されたマスクのパターンを感光性基板上に露光する露光方法では、良好な照明条件のもとで投影露光を行うことができるので、良好な半導体デバイスを製造することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例にかかる照明光学装置を備えた露光装置の構成を概略的に示す図である。

【図2】図1の光源と照明光学系とからなる照明光学装置の内部構成を概略的に示す斜視図である。

【図3】第1の分割遅延部の構成を拡大して示す斜視図である。

【図4】第1の分割遅延部における遅延光路の作用を説明する図である。

【図5】比較例の分割遅延部において3個の反射ミラーを用いて三角形に構成された遅延光路の欠点を説明する図である。

【図6】本実施例の照明光学装置における各分割遅延部の変形例の構成を概略的に示す図である。

【図7】各分割遅延部の反射ミラーに代えて蛍石や石英からなる45度プリズムを用いた変形例を示す図である。

【図8】特開平1-198759号公報に開示された従来の照明光学装置の構成を概略的に示す図である。

【符号の説明】

- |   |         |
|---|---------|
| 1 | 光源      |
| 2 | 照明光学系   |
| 3 | マスク     |
| 4 | マスクホルダ  |
| 5 | マスクステージ |
| 6 | 投影光学系   |
| 7 | ウエハ     |
| 8 | ウエハホルダ  |

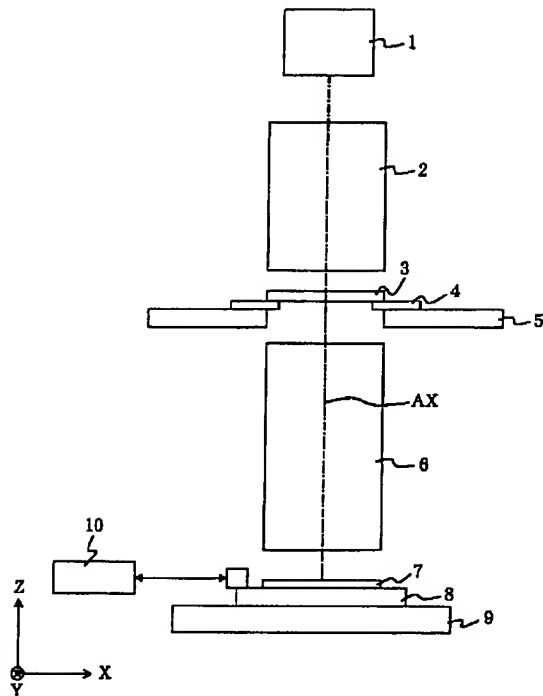
17

18

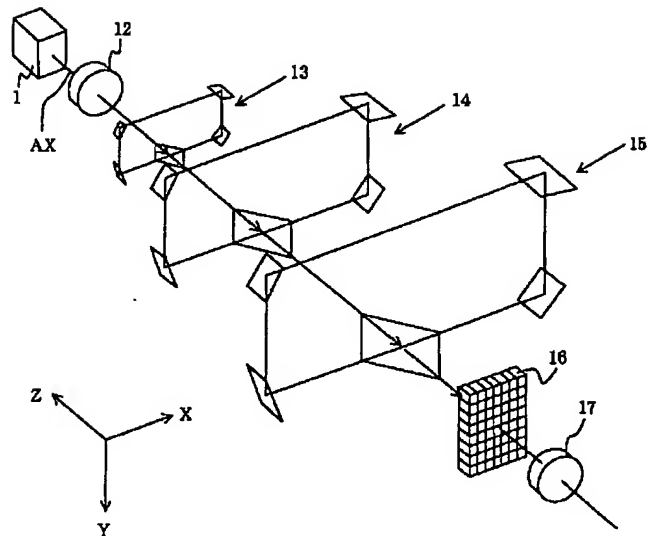
- 9 ウエハステージ  
10 干渉計  
12 整形光学系  
13 第1の分割遅延部  
14 第2の分割遅延部

- \* 15 第3の分割遅延部  
16 フライアイレンズ  
17 コンデンサーレンズ  
30 ハーフミラー  
\* 31~34 反射ミラー

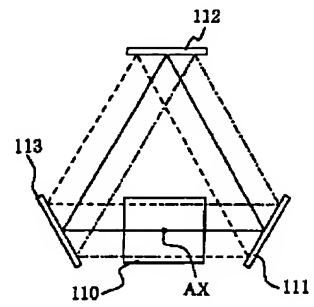
【図1】



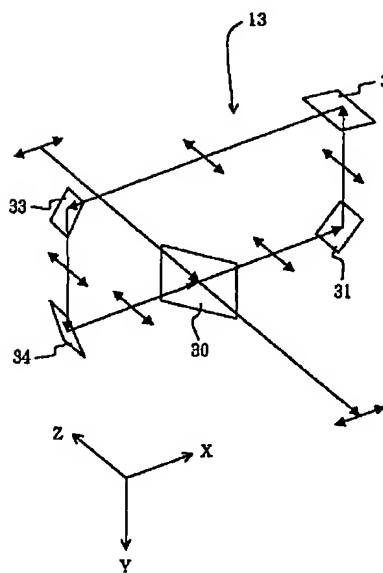
【図2】



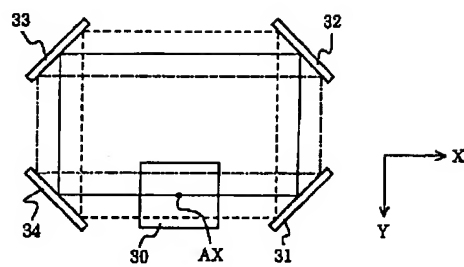
【図5】



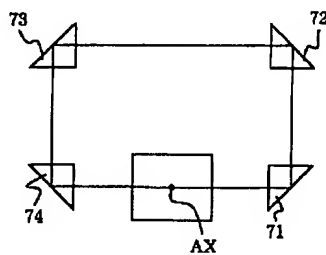
【図3】



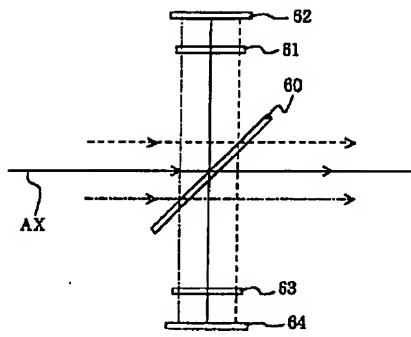
【図4】



【図7】



【図6】



【図8】

